

Martin STOLÁRIK¹

ANALÝZA SEIZMICKÝCH ÚČINKŮ TRHACÍCH PRACÍ PROVÁDĚNÝCH BĚHEM VÝSTAVBY TUNELU KLIMKOVICE

ANALYSIS OF SEISMIC EFFECTS PROVOKED BY BLASTS PERFORMED DURING TUNNEL BUILDING IN KLIMKOVICE

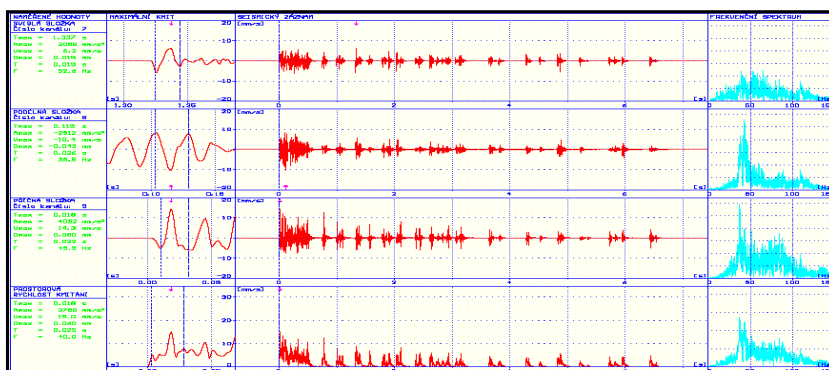
Abstract

This paper described analysis of seismic effects of blasts that were performed during tunnel building in Klimkovice. Results of this analysis show that correlations between reduced distances and maximum velocity amplitudes values are very poor. Reason for this fact is complicated local geology and small amount of charge.

Key words: seismic effect of blast, Klimkovice tunnel, maximum velocity amplitude values

Úvod

V průběhu celé výstavby tunelu Klimkovice prováděla firma INSET seizmický monitoring technické seizmicity vyvolané trhacími pracemi (Obr. 1) seizmickou aparaturou na bázi National Instruments AT-MIO-64E-3. Senzory byly mimo jiné instalovány i na objektu rodinného domu č.p. 798. Tato firma provedla hodnocení seizmického zatížení objektu. Cílem této práce je poukázat na vliv lokální geologie a také vzdálenosti na maximální hodnoty amplitudy rychlosti kmitání. Ke zpracování byl použit soubor dat poskytnutý firmou INSET obsahující naměřené maximální amplitudy rychlosti kmitání a některé parametry trhacích prací.



Obr.1 Příklad záznamu trhací práce prováděné na tunelu Klimkovice.

Tunel Klimkovice je součástí stavby dálnice D47 a spadá do stavebního úseku Stavba 4707 Bílovec – Ostrava, Rudná. Tvoří ho dvě jednosměrné dvoupruhové tunelové trouby a to tunel A - situován jako tunelová trouba ležící vpravo ve směru staničení a je určen pro dopravní směr Brno – Ostrava; a tunel B – pro dopravní směr Ostrava – Brno. Ražená část tunelu A je dlouhá 857,40 m a hloubená část na brněnské straně 158,90 m a na ostravské straně 39,41 m; tunel B je ražený v délce 867,90 m a hloubený v délce 159,50 m na brněnské straně a 39,60 m na ostravské straně. Hrubý profil obou ražených tunelů je 116,4 m² (s nouzovým zálivem až 155,3 m²), světlá plocha pro dopravu je konstantní pro ražený a hloubený tunel a to 71,8 m². Mimořádná pozornost je věnována

¹ Ing., FAST VŠB-Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15, 708 00 Ostrava-Poruba, (též Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Ostrava), martin.stolarik@vsb.cz

bezpečnostním parametrům tunelu. Obě tunelové trouby budou vybaveny podle nejpřísnějších evropských kritérií monitorovacím zařízením, příslušným větráním, vzájemně propojeny pěti tunelovými spojkami pro bezpečný únik osob a rovnoměrně opatřeny nezbytným počtem výklenků s SOS skříněmi se samostatným přívodem vzduchu. V místě středové spojky je profil obou tunelových troub pravostranně rozšířen o nouzové zálivy, umožňující nouzové odstavení vozidel. Střední tunelová spojka je také propojena s povrchem vertikální šachtou, ve které jsou i uloženy přípojní kabely a přívodní potrubí požárního vodovodu. (podle Šťaviček, 2006)

Inženýrsko – geologické poměry lokality

Celý tunelový objekt i se svými podobjekty je situován na katastrálním území města Klimkovice. Pozemky, které se nacházejí bezprostředně nad tunelem a v jeho blízkosti, jsou převážně charakteru zemědělské půdy. Z geomorfologického hlediska se lokalita tunelu Klimkovice nachází na okraji Vítkovské vrchoviny, která je součástí Nízkého Jeseníku. Typologicky se jedná o členitou pahorkatinu v oblasti vrásno-zlomových struktur (Šťaviček, 2006).

Kvartérní pokryv

V lokalitě tunelu je kvartérní pokryv převážně tvořen gravitačními (deluviálními) sedimenty jílovitopísčitých hlín s příměsí úlomků matečných hornin. Obsah a velikost úlomků s hloubkou narůstá, kdy nejhlubší vrstvy pokryvů nabývají až charakteru hlinitých štěrků s ostrohrannými úlomky a sutí. V kvartérním pokryvu byly vymezeny čtyři základní typy zemin:

- ☐ naplavené a gravitační sedimenty charakteru hlinitopísčitých štěrků třídy G3 až G4, symboly GM – GC.
- ☐ gravitační a ledovcové sedimenty charakteru jílovité až jílovitopísčité hlíny se štěrkem – úlomky podložních skalních hornin, třídy F2 a F4, symboly CG a CS.
- ☐ náplavo – gravitační a ledovcové jílovité hlíny a hlíny s úlomky do 15% třídy F6, symboly CL, CI.
- ☐ ledovcové jílů třídy F8, symbol CV.

Celková mocnost kolísá v dosti širokém rozmezí cca od 0,90 do 11,40 m i více. V některých místech je téměř nerozpoznatelné rozhraní mezi kvartérním pokryvem a zvětralým skalním podložím (Šťaviček, 2006).

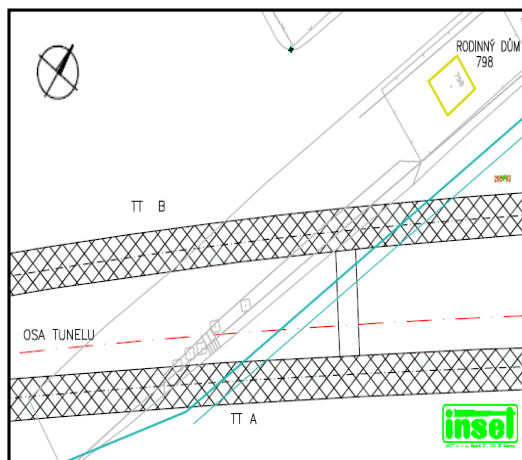
Skalní podloží

Celá lokalita tunelu je tvořena sedimentárními horninami neproduktivního karbonu – kulmu. Nejčastějším petrografickým typem jsou jílovité sedimenty – jílovce a prachovce. Zpravidla jsou tmavě šedé barvy, tenké destičkovitě vrstevnaté, místy i masivní. Velmi častý je výskyt flyšových souvrství, budovaných jílovitými a písčitými horninami – drobovými pískovci a drobami. Barva hornin je šedá, kdy hruběji zrnité horniny jsou vždy světlejší. Nejméně četné jsou písčité sedimenty – droby a drobové pískovce. Tyto jsou většinou nezřetelně vrstevnaté až masivní. Velmi často obsahují drobné laminy jílu, které ukazují na jejich vrstevnatost (Šťaviček, 2006).

Zpracování dat

Z celého souboru dat poskytnutého firmou INSET byly pro další zpracování vybrány maximální hodnoty rychlosti kmitání naměřené při provádění trhacích prací na tunelové troubě B, která se nachází blíže ke sledovanému objektu a lze tudíž očekávat větší seizmickou odezvu (Obr. 2). Ze souboru dat tunelové trouby B byly vybrány hodnoty maximální amplitudy rychlosti kmitání zachycené seizmickou aparaturou při ražbě kaloty (kalota se razila v předstihu a datový soubor byl tudíž ucelený) a to ve staničení od 141.520 do 141.640 (v polovině tohoto 120 metrového úseku míjí tunel na povrchu seizmickou aparaturou osazený objekt). Horninový masiv je v tomto úseku tvořen kulmskými horninami s převahou prachovců, místy flyšového charakteru, tj. střídajícími se prachovci, případně jílovci s drobami. Horniny v tunelovém okolí jsou převážně zdravé nebo slabě

narušené zvětráním podél puklin. Úsekem prostupuje několik poruch a poruchových pásem, které kříží trasu tunelu převážně pod velkým úhlem až kolmo. Kvartérní pokryv je v tomto úseku převážně malé mocnosti, zpravidla 2,00 až 3,00 m. Podzemní voda se vyskytuje pouze v horninovém masivu a není zastižena v kvartérním pokryvu.



Obr.2 Schéma situace.

Celkem byl tedy k dalšímu zpracování použit soubor dat obsahující 69 údajů. Mezní nálož se ve sledovaném úseku pohybovala od 0,6 kg do 2,4 kg. S přibližující se čelbou ke sledovanému objektu byla mezní nálož snižována postupně z 2,4 kg na 1,2 kg, 0,8 kg a 0,6 kg. Poté co ražba prošla v nejmenší vzdálenosti od rodinného domku (staničení 141.576,65), byla nálož opět postupně zvyšována až na původních 2,4 kg. Rychlost kmitání zaznamenaná seizmickou aparaturou ve sledovaném objektu se pohybovala od 0,7 mm.s⁻¹ do 2,9 mm.s⁻¹. V tabulce (Tab. 1), kde jsou uvedeny příklady hodnot maximální amplitudy rychlosti kmitání z naší vybraného souboru dat (a také následně spočítané konstanty přenosu K), můžeme vidět vysokou variabilitu mezi jednotlivými hodnotami maximální amplitudy rychlosti kmitání. Průměrná amplituda rychlosti kmitání v naší sledovaném souboru dat byla 1,6 mm.s⁻¹.

Z výškových kót a vzdáleností odečtených z projektové dokumentace byla dopočítána prostorová vzdálenost sledovaného objektu od každé jednotlivé čelby na které byla provedena trhací práce a jejíž odezva byla v objektu seizmickou aparaturou zaznamenána. Prostorová vzdálenost mezi objektem a čelbou na naší sledovaném stovacetimetrovém úseku se pohybovala od 44 m, kdy ražba procházela nejbližší rodinného domku až do 77 m (Obr. 3).

Ze vztahu (ČSN 73 0040)

$$u = K \cdot \frac{\sqrt{m_{ev,n}}}{l},$$

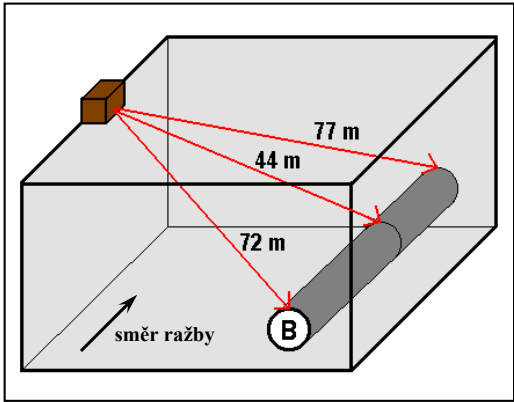
kde K - je konstanta přenosu závislá na geologickém prostředí a na vzdálenosti l ,

$m_{ev,n}$ - ekvivalentní normová hmotnost nálože v [kg],

l - vzdálenost od těžiště odstřelu v [m],

u - rychlost kmitání podloží objektu [mm.s⁻¹],

byla spočítána konstanta přenosu K pro každou trhací práci charakterizovanou v našem souboru dat příslušnou maximální amplitudou rychlosti kmitání a mezní náloží. Spočítané hodnoty konstanty přenosu K byly následně statisticky zpracovány a vyhodnoceny.



Obr.3 Schéma sledovaného úseku.

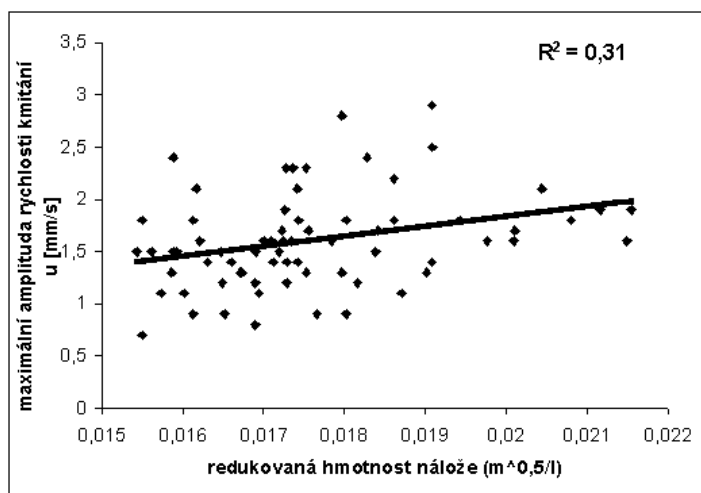
Tab.1 Příklady hodnot maximální amplitudy rychlosti kmitání z námi vybraného souboru dat a příklady výsledků napočítaných konstant přenosu K.

	staničení	prostorová vzdálenost sledovaného objektu od počvy na čelbě [m]	redukovaná hmotnost $\sqrt{m/l}$	konstanta přenosu K	mezní nálož $M_{ev,n}$ [kg]	rychlost kmitání [mm/s]
čelba se přibližuje ke sledovanému objektu	141.519,39	72,09	0,02149	74,46	2,4	1,6
	141.522,59	69,60	0,01574	69,89	1,2	1,1
	141.524,19	68,38	0,01602	68,66	1,2	1,1
	141.544,61	54,49	0,02010	84,57	1,2	1,7
	141.548	52,60	0,01700	94,10	0,8	1,6
	141.549,6	51,76	0,01728	133,11	0,8	2,3
nejbližší vzdálenost od sledovaného objektu						
	141.574,42	44,46	0,01742	80,36	0,6	1,4
	141.576,65	44,43	0,01743	103,25	0,6	1,8
	141.578,39	44,48	0,01741	120,60	0,6	2,1
čelba se vzdaluje od sledovaného objektu						
	141.610,9	56,39	0,01586	81,97	0,8	1,3
	141.612,54	57,42	0,01908	152,01	1,2	2,9
	141.612,54	57,42	0,01908	73,38	1,2	1,4
	141.635,96	74,49	0,02080	86,55	2,4	1,8
	141.637,58	75,80	0,02044	102,75	2,4	2,1
	141.639,18	77,10	0,02009	79,63	2,4	1,6

Tab.2 Informační hodnoty konstanty přenosu K (ČSN 73 0040).

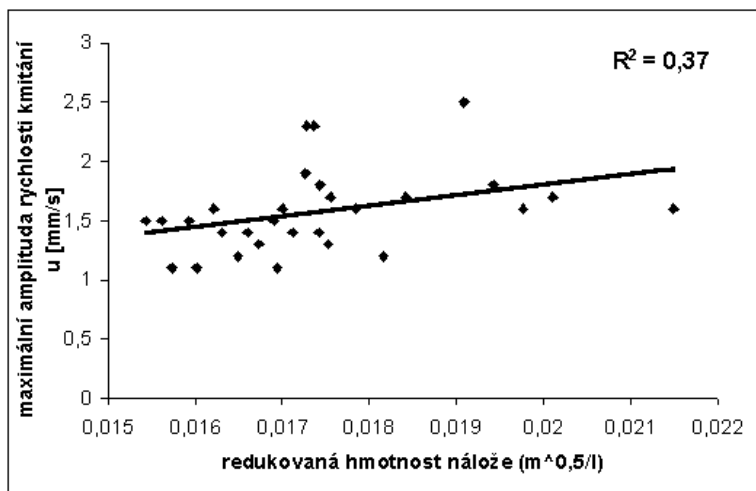
Vzdálenost l [m]	Konstanta přenosu K	
	Podloží ze skalních a poloskalních hornin se střední až velmi malou hustotou diskontinuit	Ostatní horniny mimo horniny ve zvodněném prostředí
10	350	250
50	250	150
200	150	120
500 a více	120	100

Tabulka uvedená v ČSN 73 00 40 (Tab. 2) udává pro vzdálenost do 200 m *pro skalní a poloskalní horniny* (zde svou geologií patří i námi sledovaný úsek) konstantu přenosu 120 a vyšší. Konstanta přenosu se v námi sledovaném stovacetimetrovém úseku pohybuje od 45 do 160. Medián tohoto souboru dat je 88,73 a směrodatná odchylka 24,78. Hledali jsme závislost mezi naměřenou maximální amplitudou rychlosti kmitání u a redukovanou hmotností. Redukovanou hmotnost vyjadřuje poměr \sqrt{m} (hmotnost mezní nálože) k l (vzdálenost čelby od sledovaného objektu). Koefficient korelace R^2 vychází 0,31 (Graf 1). Lze tedy i ve vzdálenosti kolem 50 m v našem případě vysledovat závislost mezi rychlostí kmitání a redukovanou hmotností nálože.

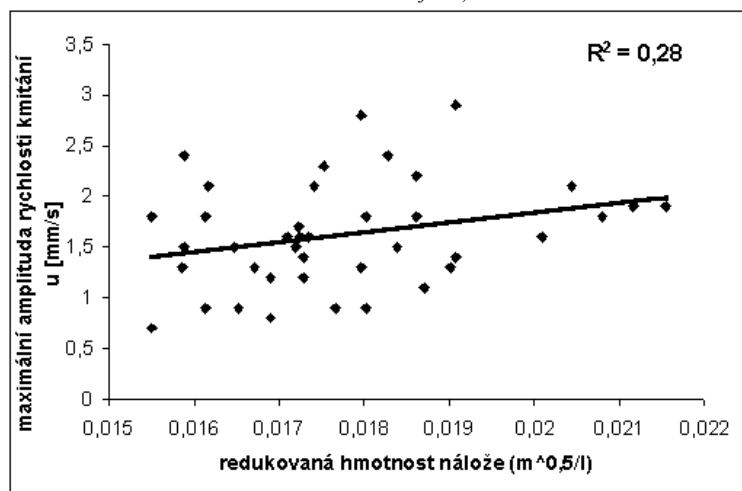


Graf 1 Grafická závislost rychlosti kmitání na redukované hmotnosti (vybraný soubor dat).

Pro další statistické zpracování byl vybraný soubor dat rozdělen do dvou. Jako kritérium pro rozdělení souboru dat bylo zvoleno místo nejkratší prostorové vzdálenosti od sledovaného objektu (staničení 141.576,65), aby bylo možno porovnat vliv postupného přibližování a následně vzdalování čelby od objektu. První soubor dat tedy představuje maximální hodnoty amplitudy rychlosti kmitání naměřené během přibližující se čelby k objektu (Graf 2) a druhý soubor dat maximální hodnoty amplitudy rychlosti kmitání naměřené během vzdalující se čelby od objektu (Graf 3). V obou případech vyšly korelační závislosti podobné jako u celého vybraného souboru dat.



Graf 2 Grafická závislost rychlosti kmitání na redukované hmotnosti (čelba se přibližuje ke sledovanému objektu).



Graf 3 Grafická závislost rychlosti kmitání na redukované hmotnosti (čelba se vzdaluje od sledovaného objektu).

Závěr

Výše uvedené reinterpretace výsledků seizmického měření dokladují, jak významné je pro složitá geologická prostředí provádět experimentální měření a monitoring, chceme-li správně posuzovat seizmické zatížení stavebních objektů v blízkém okolí raženého díla. Všechny sestavené vzdálenosti vykazují korelace, jejichž koeficient R^2 nepřesáhl pro žádný výběrový soubor hodnotu 0,4. Protože k reinterpretaci nebyly k dispozici záznamy vlnových obrazů, ale pouze odečtená

maximální hodnota kmitání, můžeme o důvodech jen spekulovat. Nejpravděpodobnější důvody jsou různorodý seizmický projev malého množství odstřelené mezní nálože trhaviny a složitá geologická stavba (způsobující komplikovaný vlnový obraz).

Tento příspěvek byl zpracován při řešení projektu ČBÚ číslo 38/05 „Vedení podzemních děl v souvislé městské zástavbě“ a GAČR 103/05/H036 „Analýzy spolehlivosti konstrukcí, vystavených účinkům mimořádného zatížení“.

Autor děkuje pracovníkům firmy INSET s.r.o. za poskytnuté materiály a konzultace.

Literatura

- [1] www.dalnice.com
- [2] Šťaviček P. Diplomová práce (2006): Vliv postupu ražení tunelu klimkovice na vývoj poklesové kotliny, Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [3] ČSN 73 0040 – Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva, Český normalizační institut, 1996.